

Полученные результаты свидетельствуют о высокой энергоэффективности схемы, вместе с тем созданная схема обеспечивает полную защиту металлических поверхностей от воздействия коррозии.

**Ключевые слова:** защита металлического оборудования от коррозии, консервирования энергетического оборудования, осушения воздуха, адсорбционный осушитель.

УДК 66.067.1.621.72

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВСТАНОВЛЕНОЇ ХОЛОДОПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КОНДИЦІЮВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ ЗА ПОТОЧНИМИ ТЕПЛОВИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ**

**Є.І. Трушляков, к.т.н., професор, А.М. Радченко, к.т.н., доцент, А.А. Зубарєв, ст. викладач, В.С. Ткаченко, аспірант,**

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна;

**Я. Зонмін, доцент,**

Цзяньсунський університет науки і технологій, Цзеньцзянь, КНР

**С.Г. Фордуй, к.т.н., доц., технічний керівник напрямку енергоресурсів та енергозбереження**

PepsiCo, Inc., CTS ESSA, Київ, Україна

nirad50@gmail.com

**Анотація.** Ефективність застосування систем кондиціювання зовнішнього повітря залежить від того, наскільки повно використовуються встановлені холодильні потужності в конкретних кліматичних умовах, тобто за більш повного навантаження і тривалого часу упродовж року. За показник кількісної оцінки ефективності використання холодильної потужності систем кондиціювання повітря взято виробництво холоду – кількість виробленого холоду відповідно до його поточних витрат на кондиціювання повітря, яка в свою чергу залежить від поточних витрат холодопродуктивності та тривалості роботи системи кондиціювання за цих витрат і представляє собою їх добуток. Вочевидь, що максимальна величина поточної кількості виробленого/витраченого холоду свідчить про ефективне використання встановленої холодильної потужності. Однак, оскільки поточні витрати холодопродуктивності та їх тривалість, тобто кількість виробленого/витраченого холоду, залежать від змінних поточних кліматичних умов, то вони теж характеризуються значними коливаннями, що ускладнює вибір встановленої холодопродуктивності системи кондиціювання повітря. Вочевидь, якщо визначати кількість виробленого/витраченого холоду за його поточними величинами і нарощуванням упродовж року, то можна суттєво спростити вибір встановленої холодопродуктивності. При цьому поточна кількість виробленого/витраченого холоду спричиняє зміну темпу прирощення річного виробництва холоду зі зміною встановленої холодопродуктивності і максимальному темпу відповідає встановлена холодопродуктивність, яка забезпечує її ефективне використання. Виходячи з різного темпу прирощення річного виробництва холоду зі збільшенням встановленої холодопродуктивності системи кондиціювання повітря, обумовленого зміною теплового навантаження відповідно до поточних кліматичних умов упродовж року, вибирають таку величину проектного теплового навантаження на систему кондиціювання повітря (встановлену холодопродуктивність), яка забезпечує максимальний або близький до нього темп прирощення річного виробництва холоду, а відтак і максимальну ефективність використання встановленої холодильної потужності.

**Ключові слова:** кондиціювання повітря, холодопродуктивність, поточна кількість витраченого холоду, річна витрата холоду, кліматичні умови.

#### **Актуальність теми.**

Тепловологісна обробка зовнішнього повітря здійснюється в центральних системах кондиціювання та при їх сумісній роботі з місцевими рециркуляційними системами [1–3]. Ефективність застосування систем кондиціювання повітря (СКП) залежить від того, наскільки повно використовуються встановлені холодильні потужності в конкретних кліматичних умовах, тобто за більш повного навантаження і тривалого часу упродовж року. За показник кількісної оцінки ефективності використання холодильної потужності СКП правомірно взяти

виробництво холоду – кількість виробленого холоду відповідно до його поточних витрат на кондиціювання повітря, яка в свою чергу залежить від поточних витрат холодопродуктивності  $Q_0$  та тривалості  $t$  роботи системи кондиціювання за цих витрат і представляє собою їх добуток. Кількість холоду, виробленого/витраченого за рік:  $\sum(Q_0 \cdot t)$ , кВт·год, де  $Q_0$  – поточна холодопродуктивність (теплове навантаження СКП);  $t$  – тривалість роботи СКП. Основні положення методології вибору встановленої (проектної) холодопродуктивності СКП в умовах нерівномірних теплових навантажень розглянуті в роботах [4].

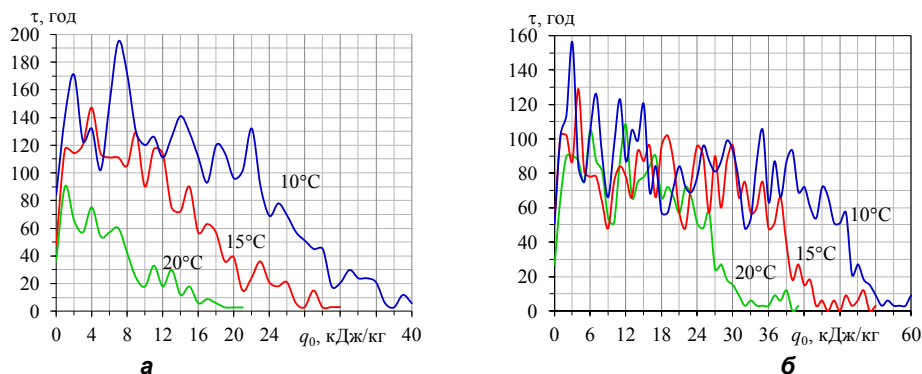
Вочевидь, що максимальна величина поточної кількості виробленого/витраченого холоду свідчить про ефективне використання встановленої холодопродуктивності. Однак, оскільки поточні витрати холодопродуктивності та їх тривалість, тобто кількість холоду, залежать від змінних поточних кліматичних умов, то вони відзначаються значними коливаннями, що ускладнює вибір встановленої холодопродуктивності системи кондиціювання повітря.

Вочевидь, якщо визначати кількість виробленого/витраченого холоду за його поточними величинами і нарощуванням упродовж року, то можна суттєво спростити вибір встановленої холодопродуктивності. При цьому поточна кількість виробленого/витраченого холоду спричиняє зміну темпу прирощення річного виробництва холоду зі зміною встановленої холодопродуктивності і максимальному темпу відповідає встановлена холодопродуктивність, яка забезпечує її ефективне використання.

**Мета** роботи – розробити підхід до визначення встановленої холодопродуктивності (проектного теплового навантаження) в конкретних кліматичних умовах упродовж року, яка забезпечує максимальне виробництво холоду відповідно до його поточного споживання.

#### Результати дослідження.

Для оцінки тривалості використання СКП за різної встановленої питомої холодопродуктивності  $q_0 = Q_0 / G_n$ , що припадає на одиницю витрати повітря  $G_n = 1$  кг/с, упродовж року були побудовані її залежності від проектної питомої холодопродуктивності  $q_0$  для кліматичних умов України (на прикладі м. Миколаїв) та КНР (м. Пекін), наведені на рис. 1.

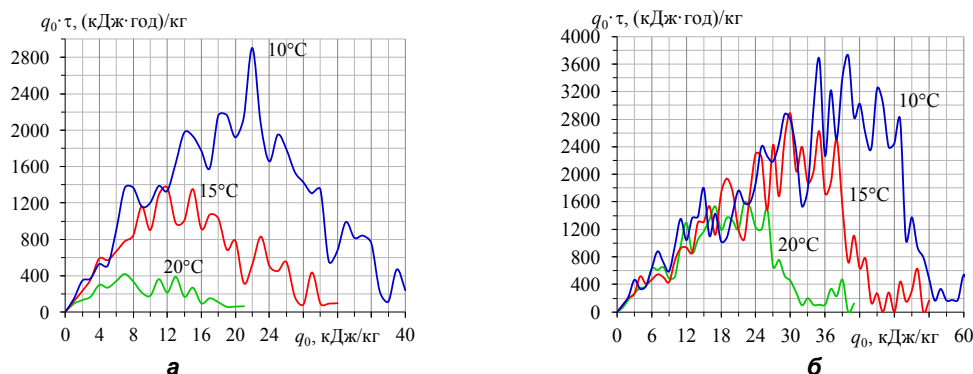


**Рис. 1.** Тривалість  $t$  кондиціювання повітря при різній питомій холодопродуктивності  $q_0$  і температурах охолодженого повітря  $t_{n2}=10, 15$  і  $20^\circ\text{C}$  упродовж 2017 р.: **а** – м. Миколаїв, Україна; **б** – м. Пекін, КНР

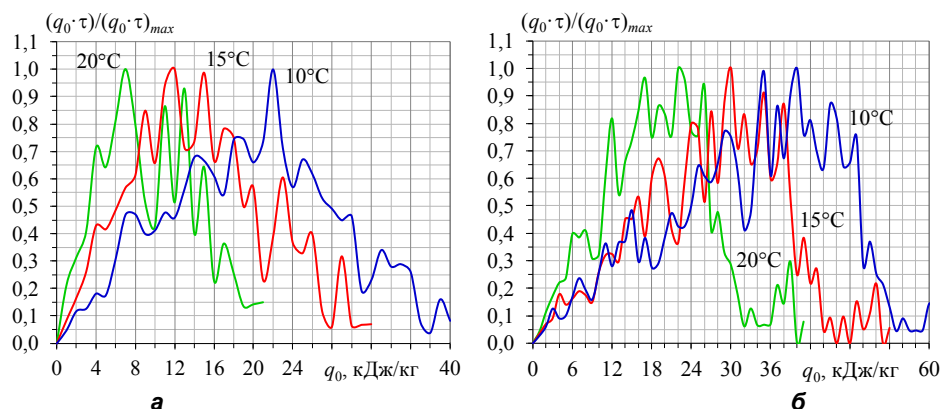
Як видно з рис. 1, більшу частину часу (максимальні значення тривалості  $t$ ) упродовж року СКП експлуатується при низькій холодопродуктивності  $q_0$ , що пояснюється помірними температурами зовнішнього повітря  $t_{zn}$ , близькими до температур охолодженого в СКП повітря  $t_{n2}=10, 15$  і  $20^\circ\text{C}$ , що не потребує значних витрат холодопродуктивності. Зі зниженням  $t_{n2}$  від  $20$  до  $10^\circ\text{C}$  максимальні значення тривалості  $t$  зростають і зміщуються у бік більших значень холодопродуктивності  $q_0$ .

При цьому максимальне виробництво холоду  $q_0 \cdot t$  при охолодженні зовнішнього повітря до температур  $t_{n2} = 10, 15$  і  $20^\circ\text{C}$  має місце в діапазоні значень проектної питомої холодопродуктивності  $q_0 = 6 \dots 14$  кДж/кг ( $t_{n2} = 20^\circ\text{C}$ ),  $q_0 = 11 \dots 16$  кДж/кг ( $t_{n2} = 15^\circ\text{C}$ ) і  $q_0 = 18 \dots 22$  кДж/кг ( $t_{n2} = 10^\circ\text{C}$ ) на рис. 2,а. Для більш теплого клімату (м. Пекін) максимальні величини виробництва холоду  $q_0 \cdot t$  та відповідні значення проектної питомої холодопродуктивності  $q_0$  суттєво зростають:  $q_0 = 26 \dots 38$  кДж/кг при  $t_{n2} = 15^\circ\text{C}$  і  $q_0 = 35 \dots 41$  кДж/кг при  $t_{n2} = 10^\circ\text{C}$  (рис. 2,б).

Відповідні величини питомого виробництва холоду  $q_0 \cdot t / (q_0 \cdot t)_{\max}$ , віднесені до його максимального значення упродовж року  $(q_0 \cdot t)_{\max}$ , наведені на рис. 3



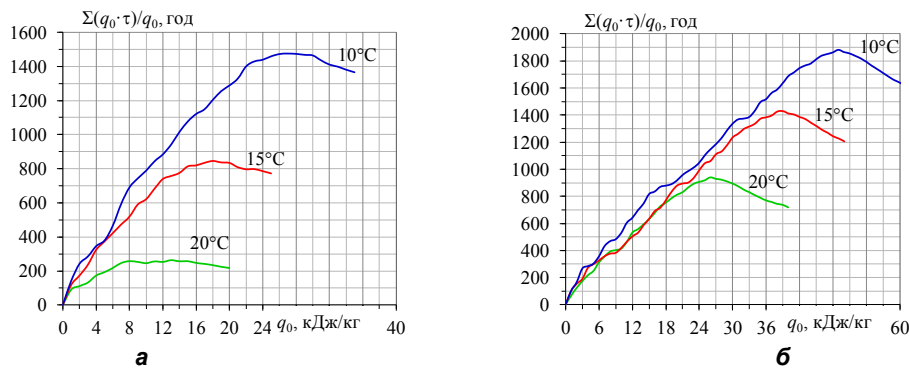
**Рис. 2.** Питоме виробництво холоду  $q_0 \cdot \tau$  для кондиціювання зовнішнього повітря при різних значеннях проектної питомої холодопродуктивності  $q_0$  і температурах охолодженого повітря  $t_{n2}=10, 15$  і  $20^\circ\text{C}$  упродовж 2017 р.: **а** – м. Миколаїв, Україна; **б** – м. Пекін, КНР



**Рис. 3.** Питоме виробництво холоду  $q_0 \cdot \tau / (q_0 \cdot \tau)_{\max}$ , віднесене до його максимального значення упродовж року  $(q_0 \cdot \tau)_{\max}$ , при різних значеннях проектної питомої холодопродуктивності  $q_0$  і температурах охолодженого повітря  $t_{n2}=10, 15$  і  $20^\circ\text{C}$  упродовж 2017 р.: **а** – м. Миколаїв, Україна; **б** – м. Пекін, КНР

Як видно з рис. 3, раціональні значення проектної питомої холодопродуктивності  $q_0$  при охолодженні повітря до температури  $t_{n2} = 15^\circ\text{C}$  лежать в діапазонах: 11...15 кДж/кг (м. Миколаїв) і 31...33 кДж/кг (м. Пекін), а при охолодженні повітря до температури  $t_{n2} = 10^\circ\text{C}$ : 21...23 кДж/кг і 36...42 кДж/кг відповідно. При цьому поточна кількість виробленого/витраченого холоду  $q_0 \cdot \tau$  характеризується значними коливаннями, що ускладнює вибір встановленої холодопродуктивності СКП  $q_0$ .

Якщо визначати кількість виробленого/витраченого холоду за нарошуванням упродовж року (сумуванням його поточних значень):  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$ , то можна суттєво спростити вибір встановленої холодопродуктивності  $q_0$ . При цьому поточна кількість виробленого/витраченого холоду  $q_0 \cdot \tau$  спричиняє зміну темпу прирощення річного виробництва холоду  $\Sigma(q_0 \cdot \tau) / q_0$  зі зміною встановленої холодопродуктивності, і максимальному темпу  $\Sigma(q_0 \cdot \tau) / q_0$  відповідає встановлена холодопродуктивність, яка забезпечує її ефективне використання (рис. 4).



**Рис. 4.** Залежність річного питомого виробництва холоду  $\Sigma(q_0 \cdot \tau)/q_0$ , віднесеного до встановленої питомої холодопродуктивності  $q_0$ , від встановленої питомої холодопродуктивності  $q_0$  при температурах охолодженого повітря  $t_{n2}=10, 15$  і  $20^\circ\text{C}$  упродовж 2017 р.: **а** – м. Миколаїв, Україна; **б** – м. Пекін, КНР

З рис. 4 видно, що значення проектної питомої холодопродуктивності  $q_0$  при охолодженні повітря до температури  $t_{n2} = 15^\circ\text{C}$  становлять: близько 18 кДж/кг (м. Миколаїв) і 38 кДж/кг (м. Пекін), а при  $t_{n2} = 10^\circ\text{C}$ : близько 26 кДж/кг та 41 кДж/кг відповідно.

**Висновок.** Досліджено ефективність використання встановленої холодопродуктивності СКП для різних кліматичних умов (України на прикладі м. Миколаїв та КНР, м. Пекін), як показник запропоновано застосовувати кількість виробленого холоду відповідно до його витрати на охолодження повітря.

Поточна кількість виробленого холоду характеризується значними коливаннями, що ускладнює вибір встановленої холодопродуктивності СКП. Запропоновано кількість виробленого холоду визначати за нарощуванням упродовж року (сумуванням його поточних значень), що дає можливість вибрати встановлену холодопродуктивність СКП, яка забезпечує її ефективне використання з максимальним темпом приросту річного виробництва холоду.

#### Список літератури

1. Obara, S. Distributed energy systems [Text] / S. Obara // GA, USA: Nova Science Publishers Inc. – 2009.
2. Carvalho, M. Modeling simple trigeneration systems for the distribution of environmental loads [Text] / M. Carvalho, M. A. Lozano, L. M. Serra, V. Wohlgemuth // *Environmental Modelling & Software*. – 2012. – № 30. – pp. 71–80.
3. Коченков Н.В., Коченков В.Н., Шакиров Я.А., Александрова А.П. Энергоэффективные режимы совместного функционирования центральной системы кондиционирования и местной рециркуляционной системы охлаждения // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование»*. 2016. № 4 (16). С. 43–46.
4. Радченко, А. М. Ефективність охолодження повітря на вході газотурбінної установки в умовах помірного і субтропічного клімату [Текст] / А. М. Радченко, Я. Зонмін, С. А. Кантор, Б. С. Портной // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2018. – № 6(150). – С. 34 – 38.

Trushliakov E.I., Radchenko A.M., Zubarev A.A., Tkachenko V.S., Zongming Y., Forduy S.G.

#### DETERMINING COOLING CAPACITY OF AMBIENT AIR CONDITIONING SYSTEM ACCORDING TO CURRENT HEAT LOADS

**Abstract.** The efficiency of the use of outdoor air conditioning systems depends on how full the installed cooling capacity is used, that is, with a more complete load and for as long as possible yearly duration in actual climatic conditions. The production of cold is taken as a criteria of a quantitative evaluation of the efficiency of using the cooling capacity of air conditioning systems – the amount of cold produced in accordance with its current demand for air conditioning, which in turn depends on the current consumption of cooling capacity and its duration and equals to their multiplication. It is obvious that the maximum value of the current amount of cold produced/consumed indicates an effective use of the installed cooling capacity. However, since the current demands of cooling capacity and their duration, that is, the amount of cold produced/consumed, depend on the changing current climatic conditions, they are characterized by significant fluctuations, which makes it difficult to choose the installed cooling capacity of the air conditioning system. Obviously, if we determine the amount of cold produced/consumed by its current values and

*summarized during the year, it is possible to significantly simplify the choice of the installed cooling capacity. At the same time, the current amount of cold produced/consumed causes a change in the rate of increment of the annual cold production with a change in the installed cooling capacity, and the maximum rate corresponds to the installed cooling capacity, which provides its efficient use. Proceeding from a different rate of increment of annual cold production with an increase in the installed cooling capacity of the air conditioning system due to a change in heat load in accordance with current climatic conditions during the year, the value of design heat load on the air conditioning system (installed cooling capacity) that provides maximum or close to it the rate of increment of the annual production of cold, and hence the maximum efficiency use of installed cooling capacity is chosen.*

**Key words:** air conditioning, cooling capacity, current cold demand, annual cold production, climatic conditions.

Трушляков Е.И., Радченко А.Н., Зубарев А. А., Ткаченко В.С., Фордуй С.Г., Зонмин Я.

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВСТАНОВЛЕННОЙ ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА ПО ТЕКУЩИМ ТЕПЛОВЫМ НАГРУЗКАМ**

**Аннотация.** Эффективность применения систем кондиционирования наружного воздуха зависит от того, насколько полно используются установленные холодильные мощности, то есть при более полной нагрузке и в течение как можно более длительного времени в течение года, в конкретных климатических условиях. В качестве показателя количественной оценки эффективности использования холодильной мощности систем кондиционирования воздуха взято производство холода – количество произведенного холода в соответствии с его текущим расходом на кондиционирование воздуха, которое в свою очередь зависит от текущих затрат холодопроизводительности и продолжительности работы системы кондиционирования при этих затратах и представляет собой их производство. Очевидно, что максимальная величина текущего количества производимого/затраченного холода свидетельствует об эффективном использовании установленной холодильной мощности. Однако, поскольку текущие затраты холодопроизводительности и их продолжительность, то есть количество производимого/затраченного холода, зависят от меняющихся текущих климатических условий, то они характеризуются значительными колебаниями, что затрудняет выбор установленной холодопроизводительности системы кондиционирования воздуха. Очевидно, если определять количество производимого/затраченного холода по его текущим величинам и наращиванию в течение года, то можно существенно упростить выбор установленной холодопроизводительности. При этом текущее количество производимого/затраченного холода вызывает изменение темпа приращения годового производства холода с изменением установленной холодопроизводительности, и максимальному темпу соответствует установленная холодопроизводительность, которая обеспечивает ее эффективное использование. Исходя из разного темпа приращения годового производства холода с увеличением установленной холодопроизводительности системы кондиционирования воздуха, обусловленного изменением тепловой нагрузки в соответствии с текущими климатическими условиями в течение года, выбирают такую величину проектного тепловой нагрузки на систему кондиционирования воздуха (установленную холодопроизводительность), которая обеспечивает максимальный или близкий к нему темп приращения годового производства холода, а значит и максимальную эффективность использования установленной холодильной мощности.

**Ключевые слова:** кондиционирование воздуха, холодопроизводительность, текущие затраты холода, годовые затраты холода, климатические условия.